



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 198 24 267 A 1

⑲ Aktenzeichen: 198 24 267.0
⑳ Anmeldetag: 29. 5. 98
㉑ Offenlegungstag: 2. 12. 99

⑤ Int. Cl.⁶:
G 01 S 7/527
G 01 S 7/292
G 01 S 13/34
G 01 S 15/34
G 01 F 23/296

DE 198 24 267 A 1

⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:
Bork, Peter, 76187 Karlsruhe, DE; Fiebelkorn,
Klaus-Dieter, Dipl.-Phys., 76872 Minfeld, DE;
Oreans, Lutz, Dipl.-Ing., 76137 Karlsruhe, DE;
Vossiek, Martin, Dr.-Ing., 80798 München, DE; Ens,
Wolfgang, Dipl.-Ing., 76187 Karlsruhe, DE; Heide,
Patric, Dr.-Ing., 85579 Neubiberg, DE; Schulmeister,
Kurt, Dipl.-Ing. (FH), 76571 Gaggenau, DE

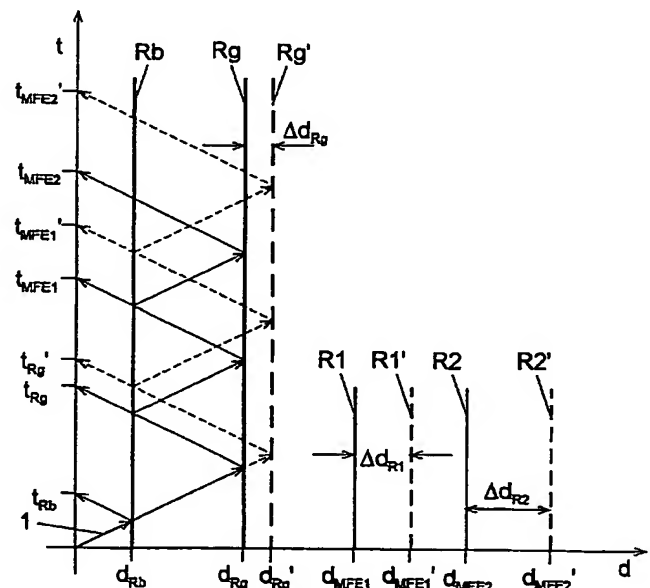
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE	197 16 680 C1
DE	42 04 414 C1
DE	32 13 430 C2
DE	44 29 200 A1
DE	43 08 373 A1
DE	43 02 426 A1
DE	38 21 577 A1
DE	32 42 284 A1
US	53 49 860
US	51 57 639
US	46 13 862
US	45 49 286
EP	03 40 953 B1
EP	02 88 578 B1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur Erkennung von Nutz- und Störechos im Empfangssignal von Abstandssensoren sowie
Anordnung zur Durchführung des Verfahrens

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung von
Nutz- und Störechos, bei welchem für Einzelechos ein Geschwindigkeitsmaß bestimmt wird, das die Änderung der
Entfernungsmaße zweier von demselben Objekt hervor-
gerufener Echos pro Zeit repräsentiert. Die Geschwindig-
keitsmaße verschiedener Einzelechos werden miteinander
verglichen und das Ergebnis des Vergleichs wird für
eine Echobewertung herangezogen. Insbesondere wird
ein Einzelecho mit einer hohen Wahrscheinlichkeit, ein
Mehrfachecho zu sein, bewertet, wenn sein Geschwindig-
keitsmaß als Summe gewichteter Geschwindigkeitsmaße
von Einzelechos mit einem kleineren Entfernungsmaß
darstellbar ist, wobei die Gewichtung mit einer beliebigen
ganzen Zahl erfolgen kann.
Die Erfindung wird angewandt bei der berührungslosen
Abstandsmessung.



DE 198 24 267 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung von Nutz- und Störechos im Empfangssignal von Abstandssensoren, welche in einem Meßvorgang mit pulsförmigen oder frequenzmodulierten Sendesignalen arbeiten und aus den Empfangssignalen Echoprofile bilden, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach dem Oberbegriff des Anspruchs 12.

Ein derartiges Verfahren ist bereits aus der DE-OS 43 08 373, der dazu korrespondierenden US-PS 5 587 969 sowie aus dem Aufsatz "Evaluation of Ultrasonic Sensor Signals Using Fuzzy Logic" zum Symposium on Acoustical Imaging, Firenze, Italy, September 4-6, 1995, von M. Vossiek, P.-C. Eccardt und V. Mégori bekannt. Abstandssensoren bilden ein sogenanntes Echoprofil, welches die Stärke der Reflexionen zusammen mit einem auf die Position des Sensors bezogenen Entfernungsmaß darstellt, das in Abhängigkeit von der Laufzeit der Einzelechos ermittelt wird. Das ist unabhängig davon, welche Wellenart als Meßsignal bei dem Verfahren verwendet wird. Beispielsweise sind akustische Wellen, insbesondere Ultraschall, oder elektromagnetische Wellen, insbesondere Mikrowellen oder optische Signale, geeignet. Die Maxima in einem Echoprofil können reflektierenden Objekten oder Reflektoranordnungen zugeordnet werden, z. B. dem Füllstand bei einem Füllstandssensor. Aus der Position des jeweiligen Maximums können die Objektentfernung und aus Form und Amplitude des Maximums die Reflexionseigenschaften des Objekts bestimmt werden. Die Detektion der Maxima und ihrer Merkmale, insbesondere Position, Amplitude und Form, kann durch analoge oder digitale Schaltungen erfolgen, z. B. Schwellen- oder Spitzenwertdetektoren, Komparatoren, Zähler, Filter oder ähnliches, oder sie werden im Anschluß an eine digitale Aufzeichnung des Empfangssignals durch eine Recheneinheit ermittelt.

Die DE-OS 43 08 373, deren Inhalt durch Bezugnahme in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Anmeldung aufgenommen sein soll, zeigt ein Verfahren, bei dem Nutz- und Störechos im Empfangssignal von Abstandssensoren anhand charakteristischer Merkmale separiert werden. Mit Hilfe von Klassifizierungsverfahren werden Mehrfachechos unterdrückt und zeitliche Fluktuationen oder die Übereinstimmung mit einer eingelernten Situation bewertet. Als Klassifizierungsverfahren werden u. a. Fuzzy-Algorithmen verwendet. Die im oben genannten Stand der Technik beschriebenen Verfahren enthalten im wesentlichen die folgenden Verfahrensschritte:

- Situationsangepaßte Einstellung von Auswerteparametern, beispielsweise von Schwellenwerten,
- Bewertung von Echos anhand von Einzelmessungen durch Auswerten von Merkmalen eines oder mehrerer Echos, wobei die Merkmale in einer Einzelmessung gewonnen wurden, und
- Bewertung von Echos anhand von zeitlichen Änderungen der Merkmale eines einzelnen Echos von Messung zu Messung.

Mit den bekannten Verfahren ist eine vergleichsweise zuverlässige Erkennung von Nutz- und Störechos im Empfangssignal von Abstandssensoren möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Erkennung von Nutz- und Störechos im Empfangssignal von Abstandssensoren zu finden sowie eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen, mit welchen eine weitererhöhte Meßsicherheit und eine weiterverbesserte Unterdrückung von Störsignalen erreicht werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe weist das neue Verfahren der eingangs genannten Art die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale auf. In den Ansprüchen 2 bis 11 sind vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens beschrieben. Die Merkmale der neuen Anordnung zur Durchführung des Verfahrens sind in Anspruch 12 angegeben.

In vorteilhafter Weise wird durch die Erfindung ausgenutzt, daß sich durch den Vergleich der zeitlichen Änderung von Echomerkmalen mehrerer Echos umfangreiche Aussagen über eine Meßsituation gewinnen lassen. Wichtige Applikationsgebiete der Erfindung sind die berührungslose Distanzmessung, der Kollisionsschutz oder die Füllstandsmessung. Je nach Anwendungsfall können aus einem Vergleich der Geschwindigkeitsmaße verschiedener Einzelechos vielfältige Bewertungsaussagen abgeleitet werden. Beispielsweise können Mehrfachechos zwischen Objekten, von denen zumindest eines beweglich ist, zuverlässig erkannt werden, indem überprüft wird, ob das Geschwindigkeitsmaß des jeweiligen Einzelechos zumindest näherungsweise mit der Summe gewichteter Geschwindigkeitsmaße von Einzelechos mit einem kleineren Entfernungsmaß als das jeweils geprüfte Einzelecho übereinstimmt. Bei der Summenberechnung kann die Gewichtung mit ganzzahligen Faktoren, die auch negatives Vorzeichen haben können, erfolgen. Bei einer Anwendung mit einem Füllstandssensor als Abstandssensor ist in vorteilhafter Weise das Füllstandsecho detektierbar, indem von den Einzelechos, deren Geschwindigkeitsmaß einen vorgebbaren Grenzwert überschreitet, dasjenige Einzelecho mit einer hohen Wahrscheinlichkeit, das Füllstandsecho zu sein, bewertet wird, dessen Entfernungsmaß am geringsten ist.

In vorteilhafter Weise werden sehr zuverlässige Ergebnisse bei der Echoverfolgung erzielt, wenn die Einzelechos des zweiten Echoprofils den Einzelechos des ersten Echoprofils nach mindestens einem, vorzugsweise nach allen der folgenden Kriterien zugeordnet werden:

- Die Differenz der Entfernungsmaße der Einzelechos eines Echopaars darf einen vorgebbaren Grenzwert nicht überschreiten,
- jedes Einzelecho darf in nur einem Echopaar vorkommen,
- die Anzahl der gebildeten Echopaare soll maximal sein und
- die Summe der Beträge der Differenzen der Entfernungsmaße aller Echopaare soll minimal sein.

Zur Selektion von Einzel- und Mehrfachechos kann das jeweils geprüfte Einzelecho mit einer um so höheren Wahrscheinlichkeit, ein Mehrfachecho zu sein, bewertet werden, je genauer die Übereinstimmung des Geschwindigkeitsmaßes des jeweils geprüften Einzelechos mit der berechneten Summe ist. Es können also je nach Übereinstimmungsgenauigkeit verschiedene Einstufungen der Wahrscheinlichkeit getroffen werden. Dadurch wird eine bessere Bewertungsaussage erreicht, die den vorliegenden Gegebenheiten näherkommt.

Der Einfluß von Meßungenauigkeiten wird vorteilhaft reduziert, indem nur Einzelechos, deren Geschwindigkeits-

maße einen vorgebbaren Grenzwert überschreiten, in den Vergleich einbezogen werden.

Um die Kombinationsmöglichkeiten bei den Berechnungen der Summe für verschiedene Werte des Faktors a zu begrenzen und in vorteilhafter Weise eine kürzere Rechenzeit zu erzielen, kann der Betrag des ganzzahligen Faktors a auf einen vorgebbaren Wert, vorzugsweise den Wert 2, begrenzt werden.

Zur Auswertung einer Vielzahl von Bewertungsaussagen, die aus dem Vergleich der Geschwindigkeitsmaße verschiedener Echos abgeleitet werden, sind in vorteilhafter Weise Fuzzy-Algorithmen anwendbar. Sie haben die Fähigkeit, eine Vielzahl variabler Eingangssignale zu verarbeiten und Vergleiche der Eingangssignale mit einem Wertebereich vorzunehmen. Zudem kann a priori-Wissen über die jeweilige Anwendung in einfacher Weise in Fuzzy-Algorithmen eingebracht werden. Auch neuronale Netze oder Neuro-Fuzzy-Algorithmen, die ebenfalls gleichzeitig mehrere Eingangssignale verarbeiten können, sind mit Vorteil verwendbar. Die wesentliche Aufgabe der Signalverarbeitung ist es, Nutz- und Störschall anhand geeigneter Regeln zu unterscheiden. Da Fuzzy-Algorithmen es ermöglichen, auch unscharfe Bewertungsaussagen durch Zugehörigkeitsfunktionen zu beschreiben und mit einem Regelwerk auszuwerten, sind sie für das Erkennungsverfahren erheblich besser geeignet als eine Boolsche Algebra, die auf festen Entscheidungsschwellen basiert und lediglich binäre Ja/Nein-Aussagen zuläßt.

Anhand der Zeichnungen, in denen ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt ist, werden im folgenden die Erfindung sowie Ausgestaltungen und Vorteile näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm zur Verdeutlichung der Entstehung von Mehrfachechos,

Fig. 2 ein Diagramm zu Mehrfachechos bei mehreren bewegten Reflektoren und

Fig. 3 ein Blockschaltbild einer Anordnung zur Durchführung des Verfahrens.

Wie in der DE-OS 43 08 373 dargestellt wurde, führt ein Meßvorgang zu einem bestimmten Zeitpunkt, z. B. dem Zeitpunkt $T = T_a$, zu einem Empfangssignal, aus welchem ein Satz von Echos, beispielsweise der Anzahl N_a , extrahierbar ist. Die Echos $E_{a1} \dots E_{aN_a}$ sind physikalisch Reflektoren oder Reflektoranordnungen zuzuordnen. Die Echos können jeweils durch P Merkmale beschrieben werden. Beispielsweise für das i -te Echo E_{ai} werden die Merkmale mit $M_{a1i}, M_{a2i} \dots M_{aPi}$ bezeichnet. Die Merkmale können in Form einer Echoliste folgendermaßen aufgeschrieben werden:

$$EL_a = \begin{pmatrix} E_{a1} \\ E_{a2} \\ \vdots \\ E_{aN_a} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{a11} & M_{a21} & \dots & M_{aP1} \\ M_{a12} & M_{a22} & \dots & M_{aP2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{a1N_a} & M_{a2N_a} & \dots & M_{aPN_a} \end{pmatrix}$$

Wichtige Merkmale eines Echos sind seine Position im Echoprofil, welche ein Entfernungsmaß des zugehörigen Reflektors zum Abstandssensor repräsentiert, die Echoamplitude sowie die Form des Echos. Bei den folgenden Ausführungen wird vorwiegend das Entfernungsmaß d zur Echoerkennung herangezogen, das den ersten Merkmalen der Echos entsprechen soll. Es soll also gelten:

$$(M_{a11}, M_{a12} \dots M_{a1N_a}) = (d_{a1}, d_{a2}, \dots d_{aN_a})$$

Die Ausführungen sind aber auch auf andere Merkmale übertragbar.

Wird ein weiterer Meßvorgang zu einem von T_a verschiedenen Zeitpunkt $T = T_b$ durchgeführt, so führt dieser Meßvorgang zu einer Echoliste EL_b . Die Echoliste EL_b dieses Meßvorgangs kann sich sowohl in den Werten der Echomerkmale M_{bij} als auch in der Anzahl N_b der Echos von der Echoliste EL_a des ersten Meßvorgangs unterscheiden.

Bevor eine sinnvolle Bewertung der zeitlichen Änderung von Echomerkmale vorgenommen werden kann, müssen die Einzelechos der Echoliste EL_b des zweiten Meßvorgangs den Einzelechos der Echoliste EL_a des ersten Meßvorgangs plausibel zugeordnet werden. Prinzipiell besteht die Aufgabe darin, diejenigen Echos aus dem ersten und dem zweiten Meßvorgang zu Paaren zusammenzufassen, die von demselben Reflektor hervorgerufen wurden. Diese Zuordnung wird im weiteren Echoverfolgung genannt. Bei einem Füllstandssensor besteht eine Möglichkeit zur Echoverfolgung darin, die Zuordnung anhand von a priori-Wissen über die jeweilige Anwendung vorzunehmen. Es kann z. B. ausgenutzt werden, daß je nach Anwendungsfall des Abstandssensors die maximal zu erwartende Positionsänderung Δd_{\max} eines Reflektors pro Zeit, die auch als Geschwindigkeitsmaß bezeichnet werden kann, begrenzt ist. Beispielsweise ist bei einem Füllstandssensor diese Begrenzung durch die maximale Geschwindigkeit gegeben, mit welcher der Vorratsbehälter befüllt oder entleert werden kann. Bei allen Echopaaren (E_{aj}, E_{bk}) , bei denen die Positionsänderung Δd_{jk} zwischen den Echos E_{aj} und E_{bk} größer ist, als es die maximal mögliche Positionsänderung während der Zeitdifferenz $T_b - T_a$ zuläßt, ist es nicht plausibel, daß die Einzelechos E_{aj} und E_{bk} von demselben Reflektor verursacht wurden. Auf diese Weise als nicht plausibel erkannte Echopaare können aus der Liste gestrichen werden.

Die Menge der verbleibenden Echopaare, bei welchen das Geschwindigkeitsmaß kleiner als ein vorgebbarer Grenzwert ist, ist nicht zwangsläufig eindeutig. Es kann also ein Echo in mehr als einem Echopaar vorkommen. Um die Echoverfolgung weiter zu verbessern, werden zusätzliche Kriterien angewendet, die zur Auswahl der plausibelsten Echopaare geeignet sind. Im einzelnen sind das die folgenden Kriterien:

- Jedes Einzelecho darf höchstens in einem Echopaar vorkommen,
- die Anzahl der ausgewählten Echopaare soll maximal sein und
- die Summe der Beträge der Differenzen der Entfernungsmaße Δd_{jk} der verbleibenden Echopaare soll minimal sein.

Ein funktionssicheres Verfahren zur Echoverfolgung ist sehr vorteilhaft bei der Berechnung von zeitlichen Änderungen der Echomerkmale, insbesondere bei der Berechnung der Geschwindigkeitsmaße aller verfolgten Echos. Das dargestellte Verfahren zur Echoverfolgung kann in analoger Weise auch auf mehr als zwei Meßvorgänge übertragen werden. Entsprechend einer Anzahl n der Meßvorgänge werden dann statt der Paare n -Tupel gebildet. In diesem Fall können

5 Merkmalsänderungen, beispielsweise innerhalb eines Beobachtungszeitfensters ΔT , akkumuliert oder auch gemittelt werden. Grundlage einer Auswertung bilden auch hier Größen, welche die Änderung der Merkmale pro Zeit beschreiben. Die bei der Echoverfolgung bestimmten Werte zur Beschreibung der Änderungen der Echomerkmale bilden selbst zusätzliche Merkmale eines Echos und können daher in die entsprechende Echoliste aufgenommen werden. Vorzugsweise werden zeitliche Änderungen der Entfernungsmaße ausgewertet. Zudem können auch aus Korrelationen zeitlicher

10 Änderungen der Entfernungsmaße verschiedener Echos Kriterien abgeleitet werden. Ein Beobachtungszeitfenster ΔT sollte so gewählt werden, daß statistische Schwankungen der Reflektorpositionen, beispielsweise aufgrund der stochastischen Meßunsicherheit des Abstandssensors, klein gegenüber den tatsächlichen Positionsänderungen, denen der jeweiligen Anwendung entsprechend eine typische Größenordnung zugewiesen werden kann, sind.

Nach der Echoverfolgung liegt eine Liste von Z_p Echos vor mit zumindest jeweils einem zugehörigen Entfernungsmaß $d_{r1}, d_{r2}, \dots, d_{rzp}$, das die aktuelle Echoposition wiedergibt, und einem Geschwindigkeitsmaß $\Delta d_{r1}, \Delta d_{r2}, \dots, \Delta d_{rzp}$, das die Änderung der Position des jeweiligen Echos und damit des jeweils zugehörigen Reflektors pro Zeit beschreibt.

Eine erste Echoklassifikation kann anhand der Geschwindigkeitsmaße $\Delta d_{r1}, \Delta d_{r2}, \dots, \Delta d_{rzp}$, durchgeführt werden, indem ein Echo einer Klasse ortsveränderlicher Echos zugeordnet wird, dessen Entfernungsmaß größer als ein vorgegebener Schwellenwert ist. Alternativ zu dieser binären Klassenzuordnung sind auch unscharfe Klassifizierungsverfahren, beispielsweise mit Fuzzy-Algorithmen, vorteilhaft anwendbar. Dabei wird einem Echo eine um so höhere Wahrscheinlichkeit zugeordnet, der Klasse der ortsveränderlichen Echos anzugehören, je größer sein Geschwindigkeitsmaß ist.

Weitere Klassifizierungen oder Bewertungen der Echos können anhand eines Vergleichs der Geschwindigkeitsmaße verschiedener ortsveränderlicher Echos erhalten werden, beispielsweise eine Erkennung von Mehrfachreflexionen oder eine Selektion eines Füllstandsechos aus einer Menge von Störechos.

25 Einige Verfahren zur Erkennung von Mehrfachechos sollen anhand der Fig. 1 und 2, in denen schematisch Verläufe eines Sendesignals dargestellt sind, erläutert werden. Auf der Abszisse ist das Entfernungsmaß d aufgetragen, das einem Echo in Abhängigkeit des zeitlichen Eintreffens eines Empfangssignals bei einem Abstandssensor zugeordnet wird. An der Ordinate ist die Zeit t eines Meßvorgangs aufgetragen.

In Fig. 1 ist jeweils durch einen dicken senkrechten Strich die Lage eines Reflektors R_b und eines Reflektors R_g markiert. Die Entfernungsmaße der beiden Reflektoren R_b und R_g sind auf der d -Achse mit d_{Rb} bzw. d_{Rg} angegeben. In einem Meßvorgang wird von einem Abstandssensor, der sich an der Position mit dem Entfernungsmaß $d = 0$ befindet, zum Zeitpunkt $t = 0$ ein pulsartiges oder frequenzmoduliertes Sendesignal, beispielsweise ein Radarsignal, gesendet. Das Sendesignal bewegt sich von der Sensorebene fort, wie es in Fig. 1 durch einen Pfeil 1 markiert ist. Ein Teil des Sendesignals wird am Reflektor R_b zurückgeworfen und wird als ein Echo zum Zeitpunkt $t = t_{Rb}$ im Empfangssignal des Abstandssensors detektiert. Ein anderer Teil des Sendesignals gelangt zum Reflektor R_g , wird von diesem reflektiert und erzeugt im Echoprofil ein Echo zum Zeitpunkt t_{Rg} , das dem Reflektor R_g zugeordnet werden kann und dessen Entfernungsmaß d_{Rg} entspricht. Am Reflektor R_b wird wiederum ein Teil des Sendesignals zum Reflektor R_g zurückgeworfen und erzeugt nach Reflexion am Reflektor R_g ein erstes Mehrfachecho zum Zeitpunkt $t = t_{MFE1}$. Das Entfernungsmaß, das diesem ersten Mehrfachecho zugeordnet werden kann, ist auf der d -Achse als d_{MFE1} aufgetragen. Am Reflektor R_b wird

30 wiederum ein Teil des Sendesignals zum Reflektor R_g und von diesem zum Abstandssensor reflektiert, so daß ein zweites Mehrfachecho zum Zeitpunkt $t = t_{MFE2}$ mit geringerer Amplitude detektiert werden kann. Das dem zweiten Mehrfachecho zugeordnete Entfernungsmaß beträgt d_{MFE2} . Ein Mehrfachecho ist also ein Echo, welches von einem ersten Reflektor, hier dem Reflektor R_g , nicht direkt zum Abstandssensor gelangt, sondern über mindestens eine weitere Reflexion an mindestens einem weiteren Reflektor, hier am Reflektor R_b , zurück zum ersten Reflektor, hier R_g , gelangt und somit

45 erst nach wiederholten Reflexionen am ersten Reflektor vom Abstandssensor empfangen wird. Dieser Reflexionsvorgang kann sich auch mehrmals wiederholen. Je nach Anzahl der Wiederholungen werden die detektierten Echos als Mehrfachechos 1., 2., 3. oder höherer Ordnung bezeichnet. Mehrfachechos täuschen Reflektoren im Meßraum vor, die aber tatsächlich nicht vorhanden sind. In dem Diagramm nach Fig. 1 werden auf diese Weise ein Reflektor $R1$ mit dem Entfernungsmaß d_{MFE1} sowie ein Reflektor $R2$ mit dem Entfernungsmaß d_{MFE2} scheinbar detektiert.

50 Ändert sich nun von einem Meßvorgang zum nächsten die Position des Reflektors R_g um einen Betrag ΔR_g zu einem neuen Entfernungsmaß d_{Rg}' und bleibt die Position des Reflektors R_b , der zur Mehrfachreflexion beiträgt, fest, so ändern sich auch die Entfernungsmaße d_{MFE1} in d_{MFE1}' und d_{MFE2} in d_{MFE2}' . Das bedeutet eine Verschiebung des scheinbar vorhandenen Reflektors $R1$ zu einem Reflektor $R1'$ bzw. des Reflektors $R2$ zu einem Reflektor $R2'$. In entsprechender Weise verschieben sich auch die Zeitpunkte der Echodetektion von einem Zeitpunkt t_{R9} zu einem Zeitpunkt t_{Rg}' , von einem Zeitpunkt t_{MFE1} zu einem Zeitpunkt t_{MFE1}' und von einem Zeitpunkt t_{MFE2} zu einem Zeitpunkt t_{MFE2}' . Die Beträge Δd_{R1} und Δd_{R2} , welche die Änderung der Entfernungsmaße des ersten bzw. des zweiten Mehrfachechos wiedergeben, sind gleich dem zweifachen bzw. dem dreifachen Betrag der Änderung Δd_{Rg} des Entfernungsmaßes des Reflektors R_g , wie aus Fig. 1 deutlich entnehmbar ist. Mit Berücksichtigung der Zeit, die zwischen den beiden Meßvorgängen vergangen ist, geben die Beträge der Änderungen Δd_{Rg} , Δd_{R1} und Δd_{R2} der Entfernungsmaße die Geschwindigkeitsmaße der Einzelechos an. Die Geschwindigkeitsmaße des ersten Mehrfachechos und des zweiten Mehrfachechos haben also den doppelten bzw. den dreifachen Wert des Geschwindigkeitsmaßes des Grundechos, das die Bewegungsgeschwindigkeit des Reflektors R_g wiedergibt. Anhand dieser Erkenntnis kann ein Kriterium zur Selektion von Mehrfachechos folgendermaßen formuliert werden: Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Echo der Klasse der Mehrfachechos angehört, ist um so höher, je genauer sein Geschwindigkeitsmaß dem ganzzahligen Vielfachen des Geschwindigkeitsmaßes eines anderen Echos entspricht, das ein kleineres Entfernungsmaß besitzt.

65

Das beschriebene Kriterium zur Mehrfachechoerkennung kann wie folgt erweitert werden: Einem Echo wird eine um so höhere Wahrscheinlichkeit zugeordnet, der Klasse der Mehrfachechos anzugehören, je genauer sein Geschwindigkeitsmaß der Summe der Geschwindigkeitsmaße mindestens zweier anderer Echos entspricht, deren Entfernungsmaße

geringer sind. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist das Geschwindigkeitsmaß Δd_{R2} gleich der Stimme der Geschwindigkeitsmaße Δd_{Rg} und Δd_{R1} . Bei Mehrfachechos höherer Ordnung entspricht das Geschwindigkeitsmaß eines Mehrfachechos 4. Ordnung der Summe der Geschwindigkeitsmaße des Grundechos und des Mehrfachechos 3. Ordnung oder alternativ dazu der Summe der Geschwindigkeitsmaße des Mehrfachechos 1. Ordnung und des Mehrfachechos 2. Ordnung. Bei diesem Kriterium wirken sich Meßfehler nicht so stark aus, wie bei der Berechnung eines Vielfachen des Geschwindigkeitsmaßes nach dem vorhergehenden Kriterium. Generell können die Geschwindigkeitsmaße der Echos nur mit einer gewissen Meßunsicherheit behaftet erfaßt werden. Derartige Meßfehler haben aber zur Folge, daß das Geschwindigkeitsmaß eines Mehrfachechos höherer Ordnung möglicherweise nur ungenau dem Vielfachen des Geschwindigkeitsmaßes des Grundechos entspricht. Bei dem zuletzt genannten Kriterium wird daher eine größere Erkennungssicherheit erreicht.

Das beschriebene Verfahren zur Erkennung von Mehrfachechos kann zudem dahingehend erweitert werden, daß nicht nur ein Vergleich eines Geschwindigkeitsmaßes eines Echos mit den Summen der Geschwindigkeitsmaße von Echos mit geringeren Entfernungsmaßen durchgeführt wird, sondern auch Differenzen bzw. Kombinationen aus Summen- und Differenzwerten in die Betrachtung einbezogen werden. In den Kombinationen werden also auch Summen und Differenzen der Geschwindigkeitsmaße gebildet und das Geschwindigkeitsmaß des jeweils geprüften Echos mit dem Ergebnis dieser Berechnung verglichen. Auf diese Weise können vorteilhaft Mehrfachechos in Situationen erkannt werden, bei denen mehr als ein Reflektor sein Entfernungsmaß geändert hat. Das so erweiterte Verfahren wird anhand Fig. 2 verdeutlicht. Durch zwei dick gezeichnete, senkrechte Linien ist wiederum die Position eines Reflektors Rb bzw. eines Reflektors Rg mit einem Entfernungsmaß d_{Rb} bzw. d_{Rg} symbolisch dargestellt. Bei einem ersten Meßvorgang wird entsprechend einem Pfeil 2 ein Radarsignal in Richtung auf die beiden Reflektoren Rb und Rg zum Zeitpunkt $t = 0$ von der Sensorebene eines Abstandssensors abgestrahlt. Nach einer Laufzeit t_{Rb} wird das am Reflektor Rb zurückgeworfene Signal durch den Abstandssensor detektiert. Daraus kann das Entfernungsmaß d_{Rb} des Reflektors Rb ermittelt werden. Ein weiteres Grundecho zum Zeitpunkt t_{Rg} wird durch die Reflexion des Radarsignals am Reflektor Rg erzeugt. Ein Teil des am Reflektor Rg reflektierten Signals wird wiederum vom Reflektor Rb auf den Reflektor Rg zurückgeworfen und führt nach einer weiteren Reflexion am Reflektor Rg zu einem ersten Mehrfachecho zum Zeitpunkt t_{MFE1} . Durch dieses Mehrfachecho wird, wie bereits bei Fig. 1 geschildert, die Anwesenheit eines Reflektors R1 mit einem Entfernungsmaß d_{MFE1} vorgetäuscht. In der Zeit zwischen dem bisher beschriebenen ersten Meßvorgang und einem zweiten Vorgang verschiebt sich die Position der beiden Reflektoren Rb und Rg in neue Positionen, die durch gestrichelte, senkrechte Linien markiert sind. Die beiden Reflektoren werden nun als Reflektor Rb' bzw. Reflektor Rg' bezeichnet. Das Entfernungsmaß $d_{Rb'}$ ergibt sich aus einer Laufzeit $t_{Rb'}$ des Grundechos des Reflektors Rb' und unterscheidet sich um den Betrag Δd_{Rb} vom Entfernungsmaß d_{Rb} des Reflektors Rb. In entsprechender Weise wird das Grundecho des Reflektors Rg' zum Zeitpunkt $t_{Rg'}$ mit einem Entfernungsmaß $d_{Rg'}$ detektiert, das sich um den Betrag Δd_{Rg} vom Entfernungsmaß d_{Rg} des Reflektors Rg unterscheidet. Da das erste Mehrfachecho nun zum Zeitpunkt t_{MFE1} detektiert wird, ändert auch das Entfernungsmaß d_{MFE1} seinen Betrag zu einem neuen Entfernungsmaß $d_{MFE1'}$ und erweckt den Anschein eines Reflektors R1' an dieser Position. Der Betrag der Änderung Δd_{R1} des Entfernungsmaßes d_{MFE1} vom ersten zum zweiten Meßvorgang kann, wie in Fig. 2 deutlich zu erkennen ist, nach der Formel berechnet werden:

$$\Delta d_{R1} = 2 \cdot \Delta d_{Rg} - \Delta d_{Rb}.$$

Die Beträge der Änderungen der Entfernungsmaße können wiederum bei Berücksichtigung der zwischen den beiden Meßvorgängen vergangenen Zeit als Geschwindigkeitsmaße bezeichnet werden. Das Geschwindigkeitsmaß Δd_{R1} ist also als Summenausdruck aus den beiden Geschwindigkeitsmaßen Δd_{Rb} und Δd_{Rg} erhältlich, in welchem das Geschwindigkeitsmaß Δd_{Rg} zweimal mit positivem Vorzeichen und das Geschwindigkeitsmaß Δd_{Rb} mit negativem Vorzeichen enthalten sind.

In den Fig. 1 und 2 sind jeweils die Ergebnisse eines ersten und eines zweiten Meßvorgangs dargestellt. Zwischen den dargestellten Meßvorgängen können weitere nicht gezeigte Meßvorgänge stattgefunden haben, welche die Echoverfolgung wegen geringerer Änderungen der Entfernungsmaße von Meßvorgang zu Meßvorgang erleichtern.

Das beschriebene Verfahren zur Erkennung von Mehrfachechos soll im folgenden in einer allgemeineren Form dargestellt werden. Gegeben sei als Ergebnis mindestens zweier Meßvorgänge eine Echoliste EL mit Z_p Echos, denen als Merkmale jeweils zumindest ein Entfernungsmaß d und ein Geschwindigkeitsmaß Δd zugeordnet sind. Zur Vereinfachung der Darstellung sollen die Echos mit aufsteigendem Entfernungsmaß in die Echoliste einsortiert vorliegen. D. h., das Echo mit dem geringsten Entfernungsmaß erhält den Index 1, das Echo mit dem größten Entfernungsmaß den Index Z_p . Entsprechendes gilt für die Indizierung der Entfernungs- und Geschwindigkeitsmaße der Echos. Die Echoliste kann also folgendermaßen geschrieben werden:

$$EL = \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_{Z_p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 & \Delta d_1 \\ d_2 & \Delta d_2 \\ \vdots & \vdots \\ d_{Z_p} & \Delta d_{Z_p} \end{pmatrix} \text{ mit } d_1 < d_2 < \dots < d_{Z_p}$$

Zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Echo E_k , $k \in (1, \dots, Z_p)$, zur Klasse der Mehrfachechos gehört, werden zunächst alle möglichen Summen und Differenzkombinationen Δd_{kompk} von Geschwindigkeitsmaßen Δd_j wie folgt gebildet:

$$\Delta d_{\text{kompk}} = \sum_{l=1}^{L_{\text{max}}} \sum_{j=1}^{k-1} a_{kij} \cdot \Delta d_j \quad \text{mit } a_{kij} \in \{-1, +1, 0\}, k \in \{1, \dots, Z_p\} \text{ und } L_{\text{max}} \geq 1$$

Die Anzahl verschiedener Geschwindigkeitsmaße Δd_j , die in dieser Summe vorkommen, ist maximal gleich $k-1$, da nur Echos mit einem geringeren Entfernungsmaß als dem Entfernungsmaß d_k des Echos E_k sinnvoll kombiniert werden. Mit dem ganzzahligen Wert L_{max} wird eine definierte maximale Anzahl vorgegeben, mit der sich ein Geschwindigkeitsmaß Δd_j in dem Summenausdruck wiederholen kann. Aus den verschiedenen Summen und Differenzkombinationen Δd_{kompk} , die sich durch Variation des Vorzeichenfaktors a_{kij} ergeben, wird anschließend diejenige Kombination bestimmt, bei welcher der Wert Δd_{kompk} am genauesten mit dem Geschwindigkeitsmaß Δd_k des Echos E_k übereinstimmt. Das Geschwindigkeitsmaß dieser optimalen Echokombination wird im folgenden mit $\Delta d_{\text{kompkopt}}$ bezeichnet. Um die Anzahl der Summen und Differenzkombinationen zu begrenzen, wird die Anzahl L_{max} vorzugsweise auf 2 oder 3 gesetzt und a priori-Informationen, die über den jeweiligen Anwendungsfall vorliegen, werden ausgenutzt. Ist z. B. bekannt, daß nur ein hinterer physikalischer Reflektor sein Entfernungsmaß d_i ändern kann, so ist ein negatives Vorzeichen bei Δd_i nicht sinnvoll und der Faktor a_{kij} ist für $j=i$ aus der Menge $\{0, 1\}$ zu wählen. Zudem kann wegen der Entstehungsursache von Mehrfachechos die Summe der Entfernungsmaße der zur Berechnung von Δd_{kompk} kombinierten Echos das Entfernungsmaß d_k des Echos E_k nur um ein begrenztes Maß überschreiten.

Die Abweichung des Geschwindigkeitsmaßes Δd_k des jeweils geprüften Echos E_k und der berechneten optimalen Echokombination mit dem Geschwindigkeitsmaß $\Delta d_{\text{kompkopt}}$ wird zur Mehrfachecho-Klassifikation ausgewertet. Je kleiner die Abweichung ist, d. h. je genauer die Übereinstimmung der Geschwindigkeitsmaße Δd_k und $\Delta d_{\text{kompkopt}}$ ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß es sich bei dem Echo E_k um ein Mehrfachecho handelt. Für eine derartige Auswertung kann in vorteilhafter Weise eine Auswerteeinheit verwendet werden, welche mit Fuzzy-Algorithmen arbeitet. Geeignete Verfahren hierzu sind im eingangs genannten Stand der Technik beschrieben. Prinzipiell ist aber auch eine Auswertung mit binärer Logik möglich.

Bei Füllstandssensoren ist im allgemeinen davon auszugehen, daß das Füllgut den einzigen Reflektor darstellt, der sich physikalisch bewegen kann. Wie schon gezeigt wurde, täuschen Mehrfachechos weitere bewegte Reflektoren, die jedoch immer ein größeres Geschwindigkeitsmaß besitzen, vor. Zudem wurde gezeigt, daß ein Mehrfachecho immer ein größeres Entfernungsmaß aufweist als das Grundecho eines beteiligten Reflektors. Als Kriterium kann daraus abgeleitet werden, daß demjenigen Echo eine höhere Wahrscheinlichkeit zuzuordnen ist, das Echo des Füllstands zu sein, das kein Mehrfachecho ist und bei einem Vergleich mit weiteren Echos, die ebenfalls keine Mehrfachechos sind, das größere Geschwindigkeitsmaß aufweist. Die Mehrfachechos können vorab, wie oben beschrieben, oder mit einem aus dem genannten Stand der Technik bekannten Verfahren selektiert werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Selektion des Füllstandsechos, die sich durch eine sehr einfache Auswertung und eine gute Zuverlässigkeit auszeichnet, besteht darin, demjenigen Echo aus der Klasse der ortsveränderlichen Echos die größte Wahrscheinlichkeit zuzuordnen, das Füllstandsecho zu sein, welches das geringste Entfernungsmaß aufweist.

Eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Anordnung ist in Fig. 3 dargestellt. Ein Abstandssensor 3, der in einen Meßraum Mikrowellensignale sendet und die Echos der Signale empfängt, arbeitet vorzugsweise nach dem FMCW-Prinzip (Frequency Modulated Continuous Wave). Das Sendesignal ist vorzugsweise linear frequenzmoduliert. Elektrische Signale 4 des Abstandssensors werden einem A/D-Wandler 5 zugeführt, der das Empfangssignal des Abstandssensors 3 digitalisiert. Das digitalisierte Empfangssignal 6 wird in einer Auswerteeinheit 7 weiterverarbeitet. Die Auswerteeinheit enthält eine Recheneinheit, die in dem gezeigten Ausführungsbeispiel aus einem Mikrocontroller 8, beispielsweise des Typs SAB80537, und einem Fuzzy-Koprozessor 9, z. B. einem SAE811099A, besteht. Zur weiteren Auswertung des Empfangssignals, insbesondere zur Extraktion der Echomerkmale, wird das digitalisierte Empfangssignal in einem Datenspeicher 10 abgespeichert. Der Datenspeicher 10 enthält auch das Auswerteprogramm für die Recheneinheit. Zugehörigkeitsfunktionen und Regeln, welche die Basis der Fuzzy-Algorithmen bilden, sind in einem Speicher 11 hinterlegt, auf welchen der Fuzzy-Koprozessor 9 zugreifen kann. Für eine Kommunikation der Auswerteeinheit 7 mit einer in Fig. 3 nicht dargestellten, übergeordneten Steuerung ist ein Interface 12 vorgesehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung von Nutz- und Störechos im Empfangssignal von Abstandssensoren, welche in einem Meßvorgang mit pulsformigen oder frequenzmodulierten Sendesignalen arbeiten und aus den Empfangssignalen Echoprofile bilden, wobei einem in einem Empfangssignal detektierten Maximum ein Einzelecho eines im Meßbereich befindlichen reflektierenden Objekts zuordenbar ist, mit den folgenden Schritten:

- aus einem ersten Echoprofil EP_a eines ersten Meßvorgangs werden N_a Einzelechos mit jeweils zugehörigen Entfernungsmaßen $d_{a1}, d_{a2}, \dots, d_{aN_a}$ bestimmt, wobei die Anzahl N_a mindestens 2 beträgt,
- aus einem zweiten Echoprofil EP_b eines zweiten Meßvorgangs werden N_b Einzelechos mit jeweils zugehörigen Entfernungsmaßen $d_{b1}, d_{b2}, \dots, d_{bN_b}$ bestimmt, wobei die Anzahl N_b mindestens 2 beträgt,
- in einer Echoverfolgung werden Einzelechos des zweiten Echoprofils EP_b den Einzelechos des ersten Echoprofils EP_a zugeordnet, die von demselben reflektierenden Objekt hervorgerufen werden,
- für Z_p verfolgte Einzelechos wird ein Geschwindigkeitsmaß $\Delta d_{11}, \Delta d_{12}, \dots, \Delta d_{1Z_p}$ bestimmt, das die Differenz der Entfernungsmaße zweier von demselben Objekt hervorgerufener Echos pro Zeit repräsentiert, wobei die Anzahl Z_p mindestens 2 beträgt,

dadurch gekennzeichnet,

- daß ein Vergleich der Geschwindigkeitsmaße verschiedener Einzelechos durchgeführt wird und
- daß das Ergebnis des Vergleichs für eine Echobewertung herangezogen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Echoverfolgung die Einzelechos des zweiten

- Echoprofil EP_b den Einzelechos des ersten Echoprofils EP_a nach mindestens einem der folgenden Kriterien zugeordnet werden:
- die Differenz der Entfernungsmaße der Einzelechos eines durch die Zuordnung gebildeten Echopaars darf einen vorgebbaren Grenzwert nicht überschreiten,
 - jedes Einzelecho darf in nur einem Echopaar vorkommen,
 - die Anzahl der gebildeten Echopaare soll maximal sein und/oder
 - die Summe der Beträge der Differenzen der Entfernungsmaße aller Echopaare soll minimal sein.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
- daß nur Einzelechos, deren Geschwindigkeitsmaße einen vorgebbaren Grenzwert überschreiten, in den Vergleich einbezogen werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- daß zum Vergleich der Geschwindigkeitsmaße verschiedener Einzelechos geprüft wird, ob ein Geschwindigkeitsmaß eines Einzelechos zumindest näherungsweise mit der Summe gewichteter Geschwindigkeitsmaße von Einzelechos mit einem kleineren Entfernungsmaß als das jeweils geprüfte Einzelecho übereinstimmt, wobei die Gewichtung der Geschwindigkeitsmaße mit einem ganzzahligen Faktor $a \in \{..., -2, -1, 0, 1, 2, ...\}$ erfolgt, und
 - daß bei zumindest näherungsweise Übereinstimmung das jeweils geprüfte Einzelecho als ein Echo mit einer hohen Wahrscheinlichkeit, ein Mehrfachecho zu sein, bewertet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,
- daß das jeweils geprüfte Einzelecho mit einer um so höheren Wahrscheinlichkeit, ein Mehrfachecho zu sein, bewertet wird, je genauer die Übereinstimmung ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet,
- daß der Betrag des ganzzahligen Faktors a auf einen vorgebbaren Wert L_{\max} begrenzt ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet,
- daß das jeweils geprüfte Einzelecho mit einer um so höheren Wahrscheinlichkeit, ein Mehrfachecho zu sein, bewertet wird, je häufiger der Faktor a in dem Summenausdruck, für welchen zumindest näherungsweise eine Übereinstimmung erzielt wurde, gleich Null ist, wobei er jedoch mindestens einmal von Null verschieden ist.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- daß bei einem Füllstandssensor als Abstandssensor ein Einzelecho mit einer um so höheren Wahrscheinlichkeit, das Füllstandsecho zu sein, bewertet wird, je größer sein Entfernungsmaß und je kleiner seine Wahrscheinlichkeit ist, ein Mehrfachecho zu sein.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- daß bei einem Füllstandssensor als Abstandssensor von den Einzelechos, deren Geschwindigkeitsmaß einen vorgebbaren Grenzwert überschreitet, dasjenige Einzelecho mit einer hohen Wahrscheinlichkeit, das Füllstandsecho zu sein, bewertet wird, dessen Entfernungsmaß am geringsten ist.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- daß die Bewertung der Echos mit Fuzzy-Algorithmen erfolgt.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- daß die Bewertung der Echos mit zumindest einem neuronalen Netz oder mit Neuro-Fuzzy-Algorithmen erfolgt.
12. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- daß der Abstandssensor (3) als Radar nach dem FMCW-Prinzip ausgeführt ist,
 - daß ein A/D-Wandler (5) vorhanden ist, mit welchem ein Empfangssignal (4) digitalisierbar ist, und
 - daß eine Auswerteeinheit (7) vorhanden ist, die eine Recheneinheit (8, 9) und Speicher (10, 11) enthält, insbesondere für digitalisierte Meßwerte des Empfangssignals, für Echomerkmale und für ein Auswerteprogramm, derart, daß einem in einem Empfangssignal detektierten Maximum ein Einzelecho eines im Meßbereich befindlichen, reflektierten Objekts zugeordnet wird,
 - daß aus einem ersten Echoprofil EP_a eines ersten Meßvorgangs Na Einzelechos mit den jeweils zugehörigen Entfernungsmaßen $d_{a1}, d_{a2}, \dots, d_{aN_a}$ bestimmt werden, wobei die Anzahl Na mindestens 2 beträgt,
 - daß aus einem zweiten Echoprofil EP_b eines zweiten Meßvorgangs Nb Einzelechos mit den jeweils zugehörigen Entfernungsmaßen $d_{b1}, d_{b2}, \dots, d_{bN_b}$ bestimmt werden, wobei die Anzahl Nb mindestens 2 beträgt,
 - daß in einer Echoverfolgung Einzelechos des zweiten Echoprofils (EP_b) den Einzelechos des ersten Echoprofils (EP_a) zugeordnet werden, die von demselben reflektierenden Objekt hervorgerufen werden,
 - daß für Z_p verfolgte Einzelechos ein Geschwindigkeitsmaß $\Delta d_{r1}, \Delta d_{r2}, \dots, \Delta d_{rZ_p}$ bestimmt wird, das die Änderung der Entfernungsmaße zweier von demselben Objekt hervorgerufener Echos pro Zeit repräsentiert, wobei die Anzahl Z_p mindestens 2 beträgt,
 - daß ein Vergleich der Geschwindigkeitsmaße verschiedener Einzelechos durchgeführt wird und
 - daß das Ergebnis des Vergleichs für eine Echobewertung herangezogen wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

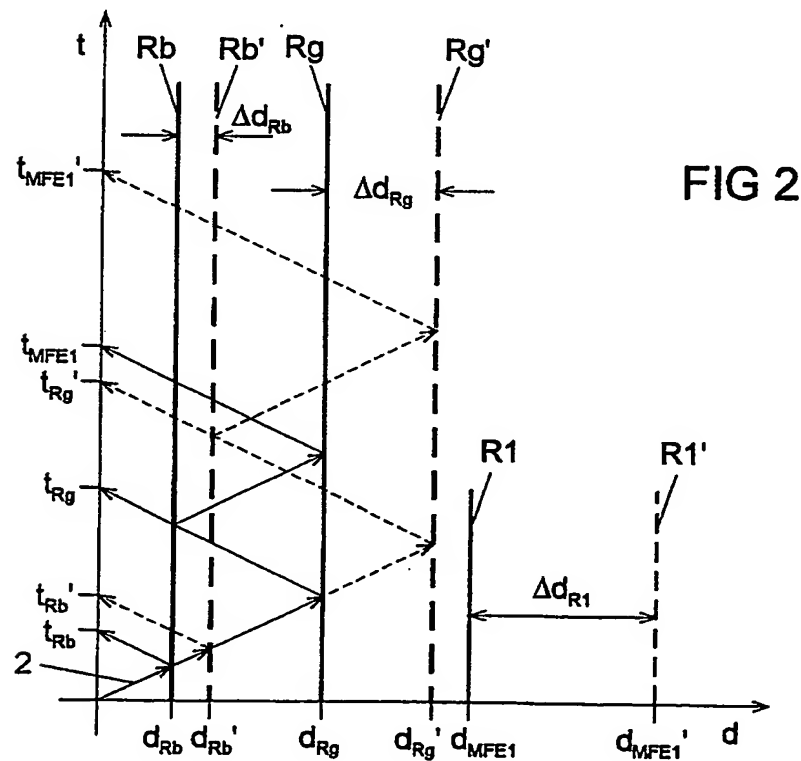
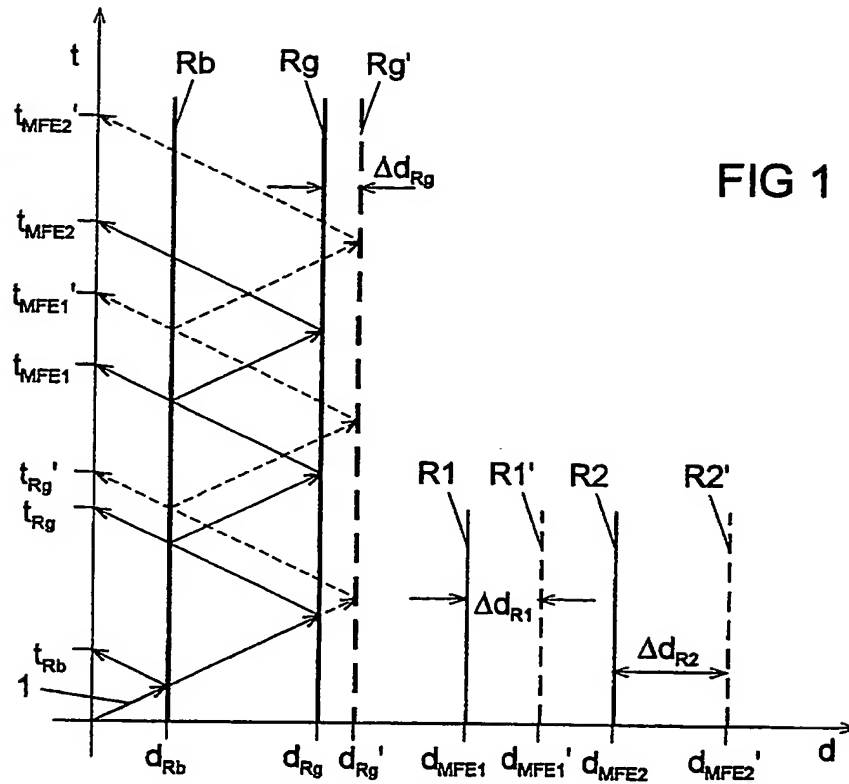


FIG 3

